

MESTRADO INTEGRADO EM PSICOLOGIA
PSICOLOGIA CLÍNICA E DA SAÚDE

Neurofeedback: “*Learners*” e “*Non-learners*” na Perturbação do Controlo dos Impulsos

Ana Catarina Rodrigues Sona

M

2019



Universidade do Porto
Faculdade de Psicologia e Ciências da Educação

**NEUROFEEDBACK: “*LEARNERS*” E “*NON-LEARNERS*” NA
PERTURBAÇÃO DO CONTROLO DOS IMPULSOS**

Ana Catarina Rodrigues Sona

Outubro, 2019

Dissertação apresentada no Mestrado Integrado de Psicologia,
Faculdade de Psicologia e de Ciências da Educação da
Universidade do Porto, orientada pelo Professor Doutor *João*
Eduardo Marques-Teixeira (FPCEUP).

AVISOS LEGAIS

O conteúdo desta dissertação reflete as perspectivas, o trabalho e as interpretações do autor no momento da sua entrega. Esta dissertação pode conter incorreções, tanto conceituais como metodológicas, que podem ter sido identificadas em momento posterior ao da sua entrega. Por conseguinte, qualquer utilização dos seus conteúdos deve ser exercida com cautela.

Ao entregar esta dissertação, o autor declara que a mesma é resultante do seu próprio trabalho, contém contributos originais e são reconhecidas todas as fontes utilizadas, encontrando-se tais fontes devidamente citadas no corpo do texto e identificadas na secção de referências. O autor declara, ainda, que não divulga na presente dissertação quaisquer conteúdos cuja reprodução esteja vedada por direitos de autor ou de propriedade industrial.

Resumo

O neurofeedback é um método de intervenção psicológica não invasivo e com resultados positivos e estáveis no tempo em diferentes perturbações e áreas de aplicação. Sendo um método recente e com forte crescimento do conhecimento dos seus benefícios, verifica-se de extrema importância desenvolver esta área do conhecimento e reforçar os seus resultados e efeitos. Neste caso, a capacidade de aprendizagem é em si só um fator que permite a mudança, e um efeito do treino, sendo parte essencial da análise da eficácia do neurofeedback. As Perturbações do Controlo dos Impulsos são um categoria de perturbações caracterizada por um défice no controlo inibitório e por um conjunto de comportamentos impulsivos e disruptivos. A sua análise ainda está pouco desenvolvida e, sendo uma categoria com elevada prevalência, deverão ser estudados e desenvolvidos métodos de intervenção adequados e eficazes, referindo-se, aqui, o neurofeedback.

Este estudo ocupou-se da análise da aprendizagem no neurofeedback nas perturbações do controlo dos impulsos. Foram analisados os efeitos do neurofeedback nas PCIs e prosseguite identificação de preditores eletrofisiológicos da aprendizagem no neurofeedback, bem como divisão e caracterização dos “*learners*” e “*non-learners*”. Os resultados sugerem uma elevada eficácia do neurofeedback nas PCIs. Sugerem também como preditor da aprendizagem desta amostra a medida do poder absoluto valor de Z Teta F3. Desta forma, este estudo apresenta-se como um contributo para a investigação científica na área para a identificação da eficácia do neurofeedback e desenvolvimento de melhorias protocolares para aumentar a mesma.

Palavras chave: Neurofeedback; Perturbações do Controlo dos Impulsos; Impulsividade, Aprendedores e Não-aprendedores; Preditores: Eletroencefalografia; Poder absoluto; Poder relativo.

Abstract

Neurofeedback is a psychological intervention method non invasive with positive and stable application results in different perturbations and application areas. Being a recent method with a strong growth of the knowledge of its benefits, it's really necessary to develop this area and enhance its results. The learning capability is by itself a factor that allows the change with neurofeedback and an effect of the training sessions, being an essential part of its analyses. Impulse Control Disorders are a disturbance category characterized by an inhibitory control deficit and a set of impulsive and disruptive behaviors. Its analysis is still poorly developed and, being a category with a high prevalence, there should be an analysis and development of intervention methods suitable and efficacious, like neurofeedback.

In this study, the analysis of learning capability in neurofeedback in the impulse control disorders was developed. There were analyzed the effects of neurofeedback in the ICDs and identification of the electrophysiological predictors of the learning capability in neurofeedback, as well as division and characterization of learners and non-learners. This results suggest a high efficacy of neurofeedback in CDIs. They suggest as well as predictor the initial values of Theta F3 in the absolute power Z scores. So, this study is a big contribute to the investigation area for the identification of neurofeedback efficacy and development of protocol improvements to enhance this efficacy.

Keywords: Neurofeedback; Impulse Control Disorders; Impulsivity; Learners and Non-Learners; Predictors; Electroencefalography; Absolute Power; Relative Power.

Résumé

Le neurofeedback est une méthode d'intervention psychologique non invasive avec des résultats positifs et stables dans le temps dans différents troubles et domaines d'application. Étant une méthode récente et connaissant de plus en plus ses avantages, il est extrêmement important de développer cette domaine de connaissances et de renforcer ses résultats et ses effets. La capacité d'apprentissage est elle-même un facteur qui permet le changement et un effet de la formation, et constitue un élément essentiel de l'analyse de l'efficacité du neurofeedback. Les troubles du contrôle des pulsions sont une catégorie de troubles caractérisée par un déficit du contrôle inhibiteur et un ensemble de comportements impulsifs et perturbateurs. Son analyse est encore sous-développée et, en tant que catégorie à prévalence élevée, des méthodes d'intervention appropriées et efficaces doivent être étudiées et développées, en faisant ici référence au neurofeedback.

Cette étude portait sur l'analyse de l'apprentissage du neurofeedback dans les troubles du contrôle des pulsions. Les effets du neurofeedback sur les TCP et l'identification continue de prédicteurs électrophysiologiques d'apprentissage en neurofeedback, ainsi que la division et la caractérisation des apprenants et des non-apprenants, ont été analysés. Les résultats suggèrent une efficacité élevée du neurofeedback dans les TCP. Ils suggèrent également, en tant que prédicteur d'apprentissage dans cet échantillon, la mesure de la valeur de puissance absolue de Z Theta F3. Ainsi, cette étude est présentée comme une contribution à la recherche scientifique dans le domaine pour identifier l'efficacité du neurofeedback et pour développer des améliorations de protocole afin de l'augmenter.

Mots clés: Neurofeedback; Trouble du Contrôle des Pulsions; Impulsivité; Apprenants et Non Apprenants; Prédicteurs; Électroencéphalographie; Pouvoir Absolu; Pouvoir Relative.

Índice Geral

Enquadramento Teórico	11
1. Neurofeedback.....	11
2. “Learners” e “non-learners”	13
3. Perturbações do Controlo dos Impulsos.....	16
4. Eletroencefalografia das Perturbações do Controlo dos Impulsos.....	18
5. Neurofeedback nas Perturbações do Controlo dos Impulsos	20
6. Descrição do estudo.....	22
Estudo empírico	24
1. Metodologia.....	24
1.1. Aquisição de dados e registo do sinal EEG.....	24
1.2. Aplicação do neurofeedback	25
1.3. Procedimento: descrição e justificativa das abordagens de análise	26
2. Resultados	26
2.1. Análise descritiva	27
2.2. Análise Estatística	33
2.2.1.Eficácia Neurofeedback	33
2.2.2.“Learners” e “Non-learners”	34
2.2.3.Identificação de preditores.....	36
Discussão	38
Conclusão.....	43
Referências Bibliográficas	46

Índice de quadros

Quadro 1. Análise eficácia do Neurofeedback	27
Quadro 2. Análise eficácia do neurofeedback por banda	29
Quadro 3. Análise da eficácia do neurofeedback por banda	30
Quadro 4. Matrizes dos valores de poder absoluto antes	31
Quadro 5. Matrizes dos valores de poder absoluto depois	32
Quadro 6. Análise da mudança clínica fiável para distinção “learners”/“non-learners”	36
Quadro 7. Análise das diferenças dos “learners” antes e depois do neurofeedback nas varáveis preditoras	37

Índice de figuras

Figura 1. Representação das distribuições de alterações nos diferentes elétrodo no Poder Absoluto antes	31
Figura 2. Representação das distribuições de alterações nos diferentes elétrodo no Poder Absoluto depois	32

Lista de acrónimos

APA - American Psychiatric Association

DSM - Diagnostic and Statistical Manual of Mental Disorders

EEG - Eletroencefalografia

FFT - Fast Fourier Transformation

fMRI - Ressonância Magnética Funcional

RCI - Reliable Clinical Index

NF -Neurofeedback

PCI – Perturbação do Controlo dos Impulsos

PHDA – Perturbação de Hiperatividade com Défice de Atenção

qEEG- Eletroencefalograma Quantitativo

SCP - Slow Cortical Potentials

Enquadramento Teórico

1. Neurofeedback

O Neurofeedback é um método de intervenção psicológica, cujos interesse e valorização têm-se demonstrado em crescimento, crescimento este associado, principalmente, ao desenvolvimento do conhecimento e melhorias dos instrumentos de medida da atividade neuronal.

O Neurofeedback, é uma técnica de intervenção não invasiva, que tem como base a atividade cerebral cortical. Recorre aos princípios do condicionamento operante, através dos quais, com a utilização de reforços e inibições, o indivíduo desenvolve processos de aprendizagem que lhe permitem o controlo e modificação da atividade elétrica do cérebro, tendo em conta informações como a amplitude, frequência e coerência (Alkoby, Abu-Rmileh, Shriki, & Todder, 2018; Davelaar, Barnby, Almasi, & Eatough, 2018; Hammond, 2011; Ioannides, 2018; Logemanna, Lansbergenc, Osd, Böckerb, & Kenemansa, 2010; Luctkar-Flude & Groll, 2015; Roessner et al., 2011). Segundo Friesen, Bardouille, Neyedli e Boe (2017), o neurofeedback pode ser definido como um “sistema digital interativo que coloca o indivíduo numa situação controlada e teoricamente fechada de *loop de feedback* com representação sensorial da sua atividade cerebral”, sendo que o sujeito aprende a alcançar um estado ótimo (Friesen, Bardouille, Neyedli, & Boe, 2017, p. 2). Por sua vez, Khanna e colaboradores (2017) definem o neurofeedback como uma técnica de aprendizagem de respostas neurais através da obtenção e visualização de informações sobre a atividade cerebral e respetivo *feedback* relativamente a atividades específicas.

Para a recolha de dados e prosseguente transmissão ao sujeito, poder-se-á recorrer a técnicas de neuroimagem diversificadas, desde a ressonância magnética, o registo intracortical, a magnetoencefalografia e a eletroencefalografia (qEEG), todas usadas para permitir ao sujeito visualmente controlar informações visuais ou auditivas

(Kober, Schweiger, Reichert, Neuper, & Wood, 2017; "Neurofeedback Training to Enhance Learning and Memory in Patient with Traumatic Brain Injury: a Single Case Study," 2009; Sorger, Scharnowski, Linden, Hampson, & Young, 2019).

Sendo uma das técnicas usadas na reabilitação neuropsicológica, tem também como base o conceito de neuroplasticidade, considerando o cérebro como um órgão dinâmico e adaptativo, que se reestrutura perante novas exigências ambientais e/ou limitações funcionais, de forma a permitir o desenvolvimento do desempenho comportamental (Cho, Kim, & Jung, 2015; Orndorff-Plunkett, Singh, Aragón, & Pineda, 2017; Anguera et al., 2013 como citado em Rogala et al., 2016).

Na prática, os sujeitos recebem informações sobre a produção de determinadas ondas cerebrais através de um dispositivo, tendo que controlar e alterar os registos basais das mesmas, de forma a desenvolverem a capacidade de o fazer em outras situações de forma automática (Azarpaikan, Torbati, & Sohrabi, 2014). Astrand e colaboradores (2014) referem a necessidade de se desenvolverem protocolos e ambientes de aplicação do neurofeedback direccionados para a especificidade de cada patologia, sendo que isto requer uma maior interação entre as bases de investigação das neurociências e a prática clínica, tendo em conta o impacto de determinados designs para determinados grupos de sujeitos. Aqui, a interação médico-paciente apresenta baixa influência nos resultados, podendo ser uma técnica útil para os casos onde a motivação dos clientes é mais reduzida (Fuchs, Birbaumer, Lutzenberger, Gruzelier, & Kaiser, 2003).

De uma forma geral, a investigação tem-se centrado na análise do efeito do neurofeedback recorrendo ao registo imagético cerebral com recurso a ressonâncias magnéticas funcionais. Protocolos com recurso a eletroencefalografia têm sido menos estudados, em parte devido à dificuldade em realizar abordagens sistemáticas de avaliação da metodologia. Neste caso, refere-se que protocolos com recurso ao qEEG requerem uma quantidade de sessões mais elevada que protocolos com recurso ao fMRI. No entanto, os primeiros são os mais usados na prática clínica, dado o seu baixo custo, maior acessibilidade e melhor resolução temporal (Orndorff-Plunkett et al., 2017). O neurofeedback pode ser distinguido em diferentes protocolos de

aplicação, quer em termos de recolha de dados, quer em termos do sinal e/ou foco de treino, incluindo-se aqui o treino de frequência básico, o treino em estado de repouso, o treino de potenciais corticais lentos, entre outros. No entanto, vários estudos têm referido que as conclusões relativamente à sua eficácia tendem a ser semelhantes (Orndorff-Plunkett et al., 2017; Sorger et al., 2019).

Refere-se que a eficácia do neurofeedback varia de acordo com os estudos apresentados, tendo em conta características da perturbação/situação, características da investigação, entre outras. Monastra (2003) refere que esta técnica pode ser aplicada a “Perturbações de Défice de Atenção e Hiperatividade, ansiedade, epilepsia e perturbações aditivas” (Angelakis et al., 2007, p. 110; Luctkar-Flude & Groll, 2015), bem como a “traumatismos cranianos, dificuldades de aprendizagem, depressão” e possível esquizofrenia (Angelakis et al., 2007, p. 111; Luctkar-Flude & Groll, 2015). Tem-se verificado, também, eficácia na intervenção na perceção visual, execução motora, dor crónica e frequência de convulsões epiléticas (Khanna et al., 2017; Luctkar-Flude & Groll, 2015). Da mesma forma, diversos estudos têm demonstrado a eficácia do neurofeedback na melhoria do desempenho cognitivo em sujeitos saudáveis (Angelakis et al., 2007).

O estudo da capacidade de aprendizagem através deste método leva à distinção, ainda pouco abordada, entre “*Learners*” e “*non-learners*”, sendo este um aspeto fundamental para a definição da utilização do neurofeedback com determinado sujeito e/ou condição diagnóstica. Através desta comparação poderá ser possível a identificação *a priori* de variáveis que possam permitir ou impedir a aprendizagem em neurofeedback, bem como possíveis alterações do protocolo a aplicar. Com este estudo procura-se então desenvolver a comparação entre “*learners*” e “*non-learners*”, tendo como base as perturbações do controlo dos impulsos.

2. “*Learners*” e “*non-learners*”

No que respeita à análise dos efeitos do neurofeedback, refere-se que estes tendem a estar relacionados com as alterações verificadas na dinâmica cerebral, quer em termos de funcionamento, quer em termos de estrutura. Neste caso, estas alterações são possíveis através da consideração do conceito de neuroplasticidade, segundo o qual se considera que o sistema cerebral tem a capacidade de se alterar e adaptar perante estímulos ambientais, fisiológicos e experienciais. No caso do neurofeedback, refere-se a plasticidade adaptativa a qual se associa com as alterações cerebrais diretamente relacionadas com os esforços de aprendizagem realizados (Orndorff-Plunkett et al., 2017).

Neste caso, de uma forma geral, o neurofeedback assenta no pressuposto de que, através da aplicação de princípios associados ao condicionamento operante, o sujeito aprende a desenvolver o auto-controlo, consciente e voluntário, da sua atividade neurofisiológica. Aqui, o processo de aprendizagem deverá ser considerado como base da análise da eficácia do mesmo, da definição de protocolos, mecanismos e melhorias tecnológicas a implementar, pelo que, ponto fulcral desta definição (Reiner, Gruzelier, Bamidis, & Auer, 2018; Siniatchkin, Kropp, & Gerber, 2000). Neste caso, a aprendizagem facilita a integração de capacidades de auto-regulação e desenvolvimento do auto-controlo voluntário nas tarefas diárias (Siniatchkin et al., 2000).

Desta forma, permite-se ao sujeito um espaço, físico e temporal, no qual pode procurar uma estratégia adequada para o desenvolvimento da sua auto-regulação. Esta procura é referida como um processo de transformação das sensações e atividades psicomotoras. Esta é feita através de um conjunto de tentativas voluntárias internas de controlar simultaneamente o *feedback* externo e as cognições e comportamentos do próprio. O *feedback* e o reforço permitem a manutenção das transformações construídas, fazendo também estes parte do processo de aprendizagem (Siniatchkin et al., 2000).

Este processo é influenciado por diversos fatores, sendo referidos aqui o humor, a motivação, o locus de controlo, a empatia e características da personalidade (Friedrich, Wood, Scherer, & Neuper, 2014; Reiner et al., 2018). Siniatchkin e

colaboradores (2000) refletem sobre o papel do conhecimento dos resultados *a priori*, referindo que este tende a definir o nível de sucesso, uma vez que interfere não só com o processo em si, mas também com os próprios fatores psicológicos. Este conhecimento, aliado com o reforço adequado, a procura pela estratégia mais adequada e a consciência cognitiva e de realização da tentativa de controlo, é definido como chave do processo de aprendizagem. Zuberer, Minder, Brandeis e Drechsler (2018) referem que a aprendizagem no neurofeedback é maioritariamente influenciada pela condição (feedback continuado ou adiado), tipo de tarefa, tempo de aplicação e por fatores intrasujeitos e relacionados com o tratamento, idade e estímulos usados. Crenças sobre o neurofeedback relacionadas com incerteza, tentativa, inconsciência e impulso tendem a ser associadas com dificuldades na aprendizagem, enquanto que conceitos como a cognição, a emoção, o presente tendem a ser associadas com sujeitos bem sucedidos no neurofeedback (Davelaar et al., 2018).

Ainda que este seja um processo central na aplicação e análise do neurofeedback, poucos são os estudos que refletem sobre esta associação. Reiner e colaboradores (2018) afirmam que, de uma forma geral, 35% dos sujeitos intervencionados com esta técnica apresentam sucesso nas primeiras sessões da terapia, 35% apresentam aprendizagem após o treino e os restantes não conseguem obter sucesso. Estes resultados demonstram a necessidade de identificar os fatores que facilitam esta aprendizagem e quais os que a dificultam. De referir que a eficácia do neurofeedback não poderá ser totalmente justificada pela capacidade de aprendizagem. No entanto, a incapacidade de aprendizagem deverá ser um fator a ter em conta para a justificação da ineficácia do neurofeedback (Friedrich et al., 2014; Reiner et al., 2018).

Existem já vários estudos acerca da eficácia do neurofeedback, no entanto, refere-se que nem todos os sujeitos conseguem alcançar o nível de sucesso pretendido. Davelaar e colaboradores (2018) referem que estes resultados poderão estar associados com as diferenças ao nível das estratégias de aprendizagem escolhidas. Ainda assim, verifica-se uma falta de informações e dados que expliquem o insucesso no neurofeedback, sendo, por isso, importante estudar esta capacidade de aprendizagem como fator de influência nos resultados do neurofeedback.

A identificação de medidas de aprendizagem são essenciais para a construção de inferências dos efeitos do neurofeedback. Neste caso, a investigação refere características anatómicas, como a qualidade da mielinização da matéria branca e o volume e concentração de matéria branca no córtice mediano cingulado (Friedrich et al., 2014; Reiner et al., 2018). É proposto como preditor, também, a média entre o poder espectral da curva de densidade em repouso do EEG (Blankertz et al., 2010 como citado em Alkoby et al., 2018). Refere-se que a amplitude de alfa em repouso prediz a capacidade de aprendizagem após o neurofeedback. Outros autores recorrem a medidas de melhorias e aprendizagem nas primeiras sessões como preditores dos resultados do neurofeedback (Alkoby et al., 2018).

Aqui, no que respeita ao conceito de aprendizagem, é possível dividir os sujeitos consoante a sua capacidade ou não de aprender a controlar a dinâmica electroencefálica. Desta forma distinguem-se os “*learners*” dos “*non-learners*”, o que permite compreender o impacto e a diferença entre estes dois grupos na aplicação do neurofeedback, de forma a possibilitar o seu desenvolvimento e melhoria para resultados mais positivos e adequados a uma maior população de sujeitos. Para esta divisão recorre-se aos dados de neurofeedback para comparação entre sujeitos de acordo com o seu sucesso de aprendizagem (Davelaar et al., 2018). Neste caso, tendo como base o processo de aprendizagem, Reiner e colaboradores (2018) refletem sobre a necessidade de comparação entre sujeitos bem sucedidos (“*learners*”) e não sucedidos (“*non-learners*”), uma vez que só assim é possível a definição do tamanho do efeito da análise da influência do processo de aprendizagem na eficácia do neurofeedback.

3. Perturbações do Controlo dos Impulsos

As Perturbações do Controlo dos Impulsos são uma categoria de perturbações ainda pouco estudada, quer em termos de fenótipos eletrofisiológicos, quer em termos

de aplicação do Neurofeedback. Neste caso, sendo um conjunto de perturbações com uma elevada prevalência, cerca de 30.9% de sujeitos têm o diagnóstico de, pelo menos, uma perturbação do controlo dos impulsos, é um ramo de investigação com uma forte necessidade de desenvolvimento (Grant, Levine, Kim, & Potenza, 2005). Aqui, referir que existe já investigação sobre a eficácia positiva do neurofeedback na impulsividade, ainda que apenas associada à Perturbação de Hiperatividade e Défice de Atenção. Assim, considerando a eficácia do neurofeedback em outras áreas e a necessidade de atuação neste conjunto de perturbações, considera-se de extrema importância o estudo da eficácia deste métodos nas Perturbações do Controlo dos Impulsos. Desta forma, esta investigação analisa o impacto da aprendizagem no neurofeedback nas PCIs, procurando desenvolver o conhecimento nestas duas áreas ainda pouco abordadas.

As Perturbações do Controlo dos Impulsos são uma categoria de perturbações, anteriormente identificadas como comportamentos compulsivos e aditivos, na qual se englobam a piromania, cleptomania, perturbação explosiva intermitente e a tricotilomania (Adamec, 2008; Clinical Manual of Impulse-Control Disorders, 2006; Grant et al., 2014). No manual de diagnóstico DSM V (Association, 2014), a estas perturbações associam-se a perturbação desafiante de oposição, a perturbação do comportamento e a perturbação anti-social da personalidade, para além das não especificadas e com outra especificação (Association, 2014). É uma categoria de perturbações caracterizada por uma incapacidade em resistir aos impulsos de comportamentos agressivos, perturbadores ou angustiantes (Grant et al., 2005; Muresanu, Stan, & Buzoianu, 2012). Como fator comum, envolvem repetidos comportamentos impulsivos associados com a sensação de pouco ou nenhum controlo sobre os mesmos (Adamec, 2008).

Refere-se como fases do processo sintomático e critérios de diagnóstico o aumento da sensação de tensão ou ativação, seguido pela incapacidade de resistir à ativação do comportamento e um aumento do nível de excitação que dá lugar à sensação de alívio pelo término “positivo” do comportamento ou arrependimento, culpa e/ou auto-reprovação (Clinical Manual of Impulse-Control Disorders, 2006; Dell’Osso, Altamura, Allen, Marazziti, & Hollander, 2006; Giovannelli et al., 2016).

Desta forma, a impulsividade, definida como a “incapacidade para resistir a um impulso, drive ou tentação que é potencialmente perigosa para si ou para outros” (Clinical Manual of Impulse-Control Disorders, 2006, p. 5), é um dos aspetos centrais destas perturbações, sendo que é referida a inexistência da deliberação e/ou avaliação prévia do ato (Clinical Manual of Impulse-Control Disorders, 2006). É um traço disfuncional, caracterizado por impaciência, inquietação, procura de recompensa, agir sem pensar e incapacidade para esperar, que dificulta o pensamento e controlo comportamental (Benvenuti, Sarlo, Buodo, Mento, & Palomba, 2015; Chen et al., 2007; De Pascalis, Arwari, D'Antuono, & Cacace, 2009; De Pascalis, Varriale, & Rotonda, 2012; Lansbergen, Böcker, Bekker, & Kenemans, 2007). Pode ser subdividida em diferentes aspetos, como a tomada de decisão impulsiva, a desinibição comportamental, a perseveração de respostas punidas e sem recompensas, a ação impulsiva,... (Koelsch, Sammler, Jentschke, & Siebel, 2008). Aqui, como fator comum na literatura, refere-se que a impulsividade assenta num défice de controlo inibitório, o qual é a capacidade de parar uma resposta já em andamento (Benvenuti et al., 2015; Lansbergen, Schutter, & Kenemans, 2007).

4. Eletroencefalografia das Perturbações do Controlo dos Impulsos

A atividade neuronal é caracterizada por um conjunto de ondas cerebrais que ocorrem em diferentes frequências (delta, teta, alfa, beta e gama) e são medidas em ciclos por segundo ou hertz. Estas diferentes frequências ocorrem em diferentes partes do cérebro, podendo ser possíveis indicadores da atividade cerebral de determinado momento específico. Pessoas com perturbações como PHDA, Perturbação de Déficit de Atenção, dificuldades ao nível do desenvolvimento, ..., tendem a apresentar uma presença excessiva de ondas lentas. Quando estas ondas estão presentes nos lobos frontais, verifica-se uma dificuldade no controlo da atenção, comportamento e/ou emoções. Estas pessoas tendem a ter problemas ao nível da concentração, memória, controlo dos impulsos e humor ou hiperatividade (Hammond, 2011).

Ainda não existe consenso quanto à caracterização eletrofisiológica das Perturbações do Controlo dos Impulsos, sendo os resultados de análise eletroencefalográfica diversos e até contraditórios. Alguns autores referem que o aumento da atividade cortical lenta e a diminuição de atividade cortical rápida em repouso podem ser considerados marcadores biológicos de perturbações do controlo dos impulsos. Especificamente, refere-se uma diminuta atividade alfa, que poderá explicar a falta de controlo inibitório característica (Knyazev, Levin, & Savostyanov, 2008) e uma prevalência de baixas frequências, com maiores níveis de atividade delta-teta, principalmente nas regiões frontal e central (Arns, Gunkelman, Olbrich, Sander, & Hegerl, 2011; Kamarajan et al., 2008; Knyazev et al., 2008). Estudos sobre a atividade eletroencefalográfica em estado de repouso confirmam também esta teoria, sugerindo um aumento da atividade lenta e uma redução da atividade rápida do cérebro, o que parece estar associado com o conceito de hipoativação cortical (Koelsch et al., 2008; Lansbergen, Schutter, et al., 2007). Barry e colaboradores (2004 como citado em Lansbergen, Schutter, et al., 2007) reflete sobre a possibilidade do aumento do rácio teta/beta poder representar a funcionalidade dos estratos corticais do processamento atencional, referindo, neste sentido, que a impulsividade poderá ser uma consequência de um reduzido controlo cortical e um aumento dos impulsos subcorticais (Lansbergen, Schutter, et al., 2007).

Steriade, Gloor, Lina's, Lopes de Silva e Mesulam (1990 como citado em Arns et al., 2011), tendo como base estudos sobre a impulsividade na PHDA, referem que o aumento da atividade teta poderá representar um aumento da atividade cortical lenta bem como uma redução da atividade alfa, mais especificamente do pico de frequência alfa, parecendo, por isso, existir um aumento do rácio teta/beta face esta diminuição (Arns et al., 2011).

Por outro lado, outros autores referem que um aumento da atividade beta pode ser associado com a impulsividade, o que se verifica, por exemplo, na PHDA e na perturbação explosiva intermitente. Neste caso, aponta-se origem desta atividade no córtice ventromedial pré-frontal e, talvez, no córtice occipital direito inferior, sendo que este parece estar mais envolvido na componente comportamental afetiva (Koelsch et al., 2008).

5. Neurofeedback nas Perturbações do Controlo dos Impulsos

Poucos são os estudos onde se realiza uma aplicação direta do neurofeedback nas PCIs, verificando-se uma análise centrada na aplicação desta técnica na Perturbação de Hiperatividade e Défice de Atenção. Neste caso, a impulsividade é uma das características desta perturbação que dificulta o pensamento e controlo comportamental, bem como a adaptação social, estando também presente em outras perturbações como a perturbação de conduta e perturbações emocionais. Aqui, referem-se níveis de ativação extremos, devendo-se manter um nível ótimo para o controlo da atenção e impulsividade (Cho et al., 2004).

A impulsividade é uma das características da PHDA, sendo que o tratamento desta perturbação tem como um dos objetivos a redução desta impulsividade. Desta forma, pode-se olhar para os tratamentos aplicados nesta perturbação como base para a intervenção nas PCIs, tendo em conta a impulsividade como fator de base. O neurofeedback é uma técnica de intervenção mais recente, podendo-se recorrer a diferentes protocolos de aplicação. Neste caso, com crianças, os mais usados são o treino teta/beta e o treino de potenciais corticais lentos (SCPs), os quais têm como base os raciais evidenciados por análises de EEGs e Potenciais Evocados. Aqui, o objetivo é reduzir a atividade elétrica teta e aumentar a atividade beta, de forma a manter um nível ótimo de ativação cortical (Dias, 2010).

Cartozzo e colaboradores (n.d. como citado em Cho et al., 2004) consideram que para obter o melhor resultado possível se deverão realizar duas ou três sessões por semana com um total de 40 sessões, com uma duração máxima de 50 minutos. Cho e colaboradores (2004) realizaram um estudo com aplicação da realidade virtual no neurofeedback. Os seus resultados sugerem uma redução de erros realizados, os quais são identificados como um marcador da redução da impulsividade.

Alguns autores referem que diferentes protocolos de neurofeedback estão associados a diferentes mudanças e efeitos eletroencefalográficos e comportamentais. Aqui, o treino do ritmo sensório-motor tem sido associado com um aumento da sensibilidade perceptual e uma diminuição dos erros de comissão e, por isso, um aumento da atenção sustentada e uma diminuição da impulsividade (Dias, 2010; Egner & Gruzelier, 2001).

No caso da PHDA tende-se a recorrer a protocolos de neurofeedback de potenciais corticais lentos ou de baixa de frequência. Nesta última, os sujeitos treinam a capacidade de reduzir a atividade central teta enquanto aumentam a atividade beta, uma vez que é considerado que sujeitos com PHDA apresentam uma hipoativação global. No caso da impulsividade, especificamente, o treino neurofeedback de controlo teta/beta centra-se na modulação das regiões central e medial, parecendo permitir uma redução de comportamentos impulsivos através da redução de falsos negativos, principalmente nas situações em que era necessário controlo inibitório sobre as respostas. Bluschke e colaboradores (2016) verificaram também que os subprocessos cognitivos envolvidos no controlo inibitório são modulados pela aplicação do neurofeedback. Para além disto, processos de bloqueio de perceção e de seleção atencional não são influenciados pelo neurofeedback de intervenção teta/beta, podendo não ser considerados como importantes para o processo de inibição de resposta. Especificamente verificaram-se alterações ao nível do *Nogo-P3* e não do *Nogo-P2* o que demonstra efeitos específicos do neurofeedback no nível de inibição e seleção de resposta. Desta forma, este protocolo de intervenção de neurofeedback parece ter uma atuação mais centrada ao nível do controlo inibitório do que da atenção, podendo considerar-se este método como possível método de intervenção, especificamente, na impulsividade e, neste sentido, nas PCIs.

Os pacientes criminais com uso de substâncias tendem a apresentar um diagnóstico de falta de controlo inibitório e níveis elevados de impulsividade (maiores níveis de *craving*), sendo que estas características tendem a ser fatores para maiores possibilidades de recaída no abuso de substâncias. Protocolos de neurofeedback de aumento dos ritmos sensório-motores e redução das ondas lentas como a teta têm

apresentado resultados promissores quando aplicados em pacientes com PHDA para a redução da impulsividade (Fuchs et al., 2003).

Tendo em conta a investigação realizada no impacto do neurofeedback na PHDA, refere-se que o recurso a protocolos de reforço do ritmo sensório-motor e de inibição da atividade teta, protocolos de reforço do ritmo sensório-motor e inibição das ondas beta altas, bem como protocolos de reforço da atividade beta1 e inibição de teta associam-se a resultados comparáveis aos de tratamentos medicamentosos (Monastra et al., 2005).

De referir que, apesar das diferenças entre protocolos, de uma forma geral, análises comparativas revelam que a eficácia de todas é semelhante. Ainda assim, para a definição dos protocolos a aplicar, deverá haver uma consideração das capacidades e especificidades de cada sujeito, devendo haver, assim, uma adequação ao mesmo (Dias, 2010; Monastra et al., 2005).

A definição de fenótipos, considerados como características estáveis de EEG, permite uma abordagem mais compreensiva e mais direcionada para a especificidade do sujeito. Aqui, tendo em conta o neurofeedback com base nos dados de qEEG, podem incluir-se os protocolos de treino de frequência, os quais têm como base a identificação de um défice ou excesso de frequência em determinada banda/localização perante a comparação dos dados da avaliação inicial do sujeito com uma base normativa. Neste tipo de protocolos o foco é determinado com base nas especificidades de cada sujeito (Orndorff-Plunkett et al., 2017).

6. Descrição do estudo

Desta forma, este estudo teve como objetivo analisar o efeito da aprendizagem no neurofeedback e definir critérios de distinção *a priori* entre “*learners*” e “*non-learners*”. Referir que, compreendendo os fatores que permitem o desenvolvimento da capacidade de aprendizagem e como estes influenciam os efeitos do

neurofeedback, permite-se ao terapeuta uma maior capacidade para prever resultados e melhorá-los, pelo que uma intervenção mais individualizada e focada no cliente (Davelaar et al., 2018).

Esta análise foi realizada numa amostra de conveniência de sujeitos com Perturbação do Controlo dos Impulsos, recorrendo-se a um design pré e pós intervenção. Foi então feita comparação de dados de recolha eletroencefalográfica, antes e depois da intervenção de neurofeedback, tendo em conta, respectivamente, o poder absoluto e o poder relativo. Através da análise das variáveis com efeitos significativos, foi aplicada uma regressão linear simples para identificação de preditores e distinção entre “*learners*” e “*non-learners*”.

Estudo empírico

1. Metodologia

1.1. Aquisição de dados e registo do sinal EEG

Foram utilizados dados de 24 sujeitos (17 do sexo masculino e 7 do sexo feminino), com idades compreendidas entre os 16 e os 61 anos, com diagnóstico de Perturbação do Controlo dos Impulsos e aos quais foram aplicados protocolos de neurofeedback. Todos os doentes assinaram um consentimento informado que autoriza a gravação e armazenamento dos dados eletrofisiológicos bem como a sua utilização, mantendo o anonimato, para estudos científicos.

Os dados foram recolhidos a partir de uma base de dados de qEEG, tendo esta sido construída através da recolha de dados com recurso ao aparelho *Neuronic E 8.5 - Medici 5-TW*, com o software de registo *Track Walker 5.0* da *Neuronic SA* (Zaragoza, Espanha) e gravados em disco. Utilizou-se, também, uma touca de elétrodos, de acordo com os procedimentos descritos pela *International Society for Neuronal Regulation* (Hammond et al., 2004). A investigação baseia-se na utilização do Sistema Internacional 10/20 como padrão, com uma montagem referencial a ambas as orelhas. Este registo foi feito em duas condições: cinco minutos de olhos fechados e cinco minutos de olhos abertos. Em relação à edição destes dados, o programa utilizado foi o *Neuroguide v. 3.0.4.1* da *Applied Neuroscience Inc.* (EUA) para pós-processamento direto e extração das métricas do qEEG. A sua transformação foi feita por FFT (*Fast Fourier Transformation*).

Seguidamente foram calculadas as seguintes métricas: Poder Absoluto (raw data e Z scores) e Poder Relativo (raw data e Z scores) para as 6 bandas de frequência (Delta, Teta, Alfa, Beta, HiBeta e Beta1).

Sendo uma base de dados bem estabelecida e testada, com elevada coerência para a utilização clínica e que “fornece informações cientificamente objetivas sobre

como um cérebro deve funcionar na faixa etária do cliente” (Hammond, 2011, p. 4) a Neuroguide é a base mais indicada para determinar se os padrões de ondas cerebrais são cientificamente diferentes da norma, como e onde diferem e quais os protocolos a delinear em termos de neurofeedback, pelo que a mais indicada para o estabelecimento de análises e comparações sem a necessidade de um grupo de controlo.

1.2. Aplicação do neurofeedback

Cada sujeito teve um total de 20 sessões de neurofeedback guiado por qEEG, cada uma com duração de 45 minutos, com a utilização do dispositivo MindTuner X-10 e o software Mind WorkStation 1.4.2..

Sendo estes dados gerados da prática clínica, diferentes protocolos de neurofeedback foram aplicados de forma a direccionar a terapêutica às alterações apresentadas por cada sujeito individualmente. Ainda assim, de uma forma geral, os protocolos mais comuns foram o protocolo SMR, no qual se recorre a um filtro digital para isolar as recompensas e inibir as frequências de forma a atuar sobre um défice ou excesso identificado em determinada banda quando comparado com outras bandas e dados de outros sujeitos normativos, e o protocolo Teta/Beta, no qual se procura o desenvolvimento do controlo sobre a atividade potencial mais lenta bem como o desenvolvimento da flexibilidade e controlo da ativação neuronal e regulação de macro-regiões cerebrais (ver, por exemplo, Orndorff-Plunkett et al., 2017) . Neste último, determinou-se o uso do reforço apenas quando se verificava uma redução da banda teta e um aumento da banda beta simultaneamente. Para além destes, outros protocolos foram usados para correção de pormenores verificados inicialmente no qEEG.

1.3. Procedimento: descrição e justificativa das abordagens de análise

Relativamente à análise realizada, começou-se por selecionar da base de dados todos os sujeitos com diagnóstico de PCI intervencionados com o Neurofeedback. Seguidamente, foi feita transcrição dos dados para uma base de excel, procedendo-se ao cruzamento dos dados dos sujeitos em linhas com os dados das bandas/métricas nas colunas. Seguidamente, para análise das alterações eletroencefalográficas de cada sujeito/banda, procedeu-se à contagem do número de células com desvios iguais, superiores ou inferiores a ± 2 desvios-padrão.

Procedeu-se, então, a uma análise descritiva, com base nos valores de Z do poder absoluto, do número de sujeitos com alterações e do número de alterações por sujeito, banda, elétrodo e banda e elétrodo simultaneamente, pré e pós intervenção do neurofeedback. Estas análises foram realizadas com o objetivo de identificar as diferenças globais entre a avaliação inicial e a avaliação final após a realização do neurofeedback.

Para comparação dos dois momentos de avaliação e identificação dos efeitos significativos do neurofeedback nesta amostra, foram realizados testes t de Student para amostras emparelhadas para cada elétrodo, recorrendo-se à correção de Bonferroni para corrigir o efeito da múltiplas comparações de dados. Estas análises foram realizadas para os valores de poder absoluto com transformação logarítmica de base 10, para os valores de poder absoluto com transformação de escala de valores Z e para os valores de poder relativo. Para identificação dos “*learners*” usou-se o RCI (*Reliable Change Index*) como indicador de mudança clínica fiável, calculando-se o total de mudança e o limite de mudança para identificação das melhorias. Para identificação dos preditores da aprendizagem com o neurofeedback foram realizadas regressões lineares simples para cada uma das variáveis com efeito significativo.

2. Resultados

Do registo neuronal recolhido, foram analisadas as alterações eletrofisiológicas, as quais são representadas pelos valores desviantes relativamente aos valores normativos. Neste caso, consideram-se alterações todos os valores de $z > 2$, no caso de excessos, e $z < -2$, no caso de défices. O Neurofeedback visa aproximar os valores desviantes do valor $z = 0$, pelo que o seu efeito é avaliado pela diferença de z entre o pré e pós intervenção. Quanto maior for a diferença positiva maior será o efeito do Neurofeedback. A diferença negativa significa agravamento.

2.1. Análise descritiva

Na recolha qEEG inicial, do total de sujeitos ($n = 24$), 22 (91.7%) apresentam alterações relativamente aos dados normativos. Destes, 6 (27.3%) apresentam alterações por excesso, 11 (50%) apresentam alterações por défice e 5 (22.7%) apresentam alterações por défice e excesso simultaneamente.

Após a aplicação do neurofeedback, dos 22 sujeitos que apresentaram inicialmente alterações, 15 (68.2%) apresentam uma aproximação face à faixa de normalização. Destes, 7 (46.7%) apresentam melhorias ao nível da hiperativação, 2 (13.3%) apresentam melhorias ao nível da hipoativação, 4 (26.7%) apresentam melhorias ao nível da hiperativação e hipoativação simultaneamente e 2 (13.3%) apresentam simultaneamente melhorias e retrocessos.

TOTAL					N	c/melhorias	%
N	c/alterações antes	%	c/alterações depois	%	22	15	68.2%
24	22	91.7%	20	83.3%	Excesso	7	46.7%
Excesso	6	27.3%	3	15%	Défice	2	13.3%
Défice	11	50%	11	55%	Ambos	4	26.7%
Ambos	5	22.7%	6	30%	Redução e aumento	2	13.3%

Quadro 1. Análise eficácia do Neurofeedback

(Registo de sujeitos com alterações antes e depois do neurofeedback e de sujeitos com redução de alterações após o neurofeedback)

Antes da aplicação do neurofeedback, a banda com mais sujeitos com alterações é a HiBeta (62.5%), seguida da Teta (45.8%) e da Delta (45.8%). Em HiBeta há uma maior existência de défices (73.3%). Em Delta verifica-se um maior conjunto de défices (54.5%) e em Teta a quantidade de défices e excessos é semelhante, ainda que se verifique uma maior quantidade de défices (54.5%). Esta amostra pode então ser caracterizada, de forma sucinta, como sendo deficitária nas bandas rápidas e repartida entre défices e excessos nas bandas lentas.

Após a aplicação do neurofeedback, as bandas com menos sujeitos com alterações são a Teta e Alfa (16.7% cada) seguidas da Delta (25%).

DELTA

N	c/ alterações antes	%	c/ alterações depois	%
24	11	45.8%	6	25%
Excesso	4	36.4%	1	16.7%
Défice	6	54.5%	5	83.3%
Ambos	1	9.1%	0	0.0%

TETA

N	c/ alterações antes	%	c/ alterações depois	%
24	11	45.8%	4	16.7%
Excesso	5	45.5%	1	25%
Défice	6	54.5%	3	75%
Ambos	0	9.1%	0	0.0%

ALFA

N	c/ alterações antes	%	c/ alterações depois	%
24	5	20.8%	4	16.7%
Excesso	3	60%	1	25%
Défice	2	40%	3	75%
Ambos	0	0.0%	0	0.0%

BETA

N	c/ alterações antes	%	c/alterações depois	%
24	8	33.3%	7	29.2%
Excesso	4	50%	2	28.6%
Défice	4	50%	5	71.4%
Ambos	0	0.0%	0	0.0%

HIGHBETA**BETA 1**

N	c/ alterações antes	%	c/alterações depois	%	N	c/ alterações antes	%	c/ alterações depois	%
24	15	62.5%	14	58.3%	24	7	29.2%	7	29.2%
Excesso	4	26.7%	2	14.3%	Excesso	4	57.1%	4	57.1%
Défice	11	73.3%	12	85.7%	Défice	3	42.9%	3	42.9%
Ambos	0	0.0%	0	0.0%	Ambos	0	0.0%	0	0.0%

Quadro 2. Análise eficácia do neurofeedback por banda

(Registo do número de sujeitos com alterações por banda antes e após o neurofeedback)

Antes da aplicação do neurofeedback, a banda com mais alterações é a HiBeta (49 alterações), seguida da Beta (36 alterações) e da Delta (26 alterações). Em todas elas verifica-se uma prevalência de défices.

Após a aplicação do neurofeedback, a banda com menor quantidade de alterações é a Alfa (6 alterações), seguida pela Teta (7 alterações) e pela Beta1 (8 alterações). Em Alfa e Teta verifica-se uma prevalência de défices. Em Beta1 a quantidade de défices e excessos não difere.

No que respeita a melhorias (redução do número de alterações entre a avaliação pré e pós intervenção), a banda onde foi verificada maior normalização foi a Beta1 (88% das alterações foram normalizadas), seguida pela Alfa (80.95%) e pela Teta (80%). Em Beta1 a normalização foi verificada maioritariamente nas hipoativações (77.3%), o que foi verificado também em Alfa (88.2%) e Teta (55%).

ALTERAÇÕES POR BANDA

Banda	Pré	Tipo	Pós		Tipo	Melhorias		%	Tipo	%	
Delta	26	Excesso	9	12	Excesso	1	15	57.7%	Excesso	8	53.3%
		Defice	17		Defice	11			Défice	7	46.7%
Teta	25	Excesso	10	7	Excesso	2	20	80%	Excesso	9	45%
		Defice	15		Defice	5			Défice	11	55%
Alfa	21	Excesso	2	6	Excesso	1	17	80.95%	Excesso	2	11.8%
		Defice	19		Defice	5			Défice	15	88.2%
Beta	36	Excesso	10	17	Excesso	3	20	55.6%	Excesso	7	35%
		Defice	26		Defice	14			Défice	13	65%
HiBeta	49	Excesso	9	56	Excesso	3	18	36.7%	Excesso	8	44.4%
		Defice	40		Defice	53			Défice	10	55.6%
Beta1	25	Excesso	7	8	Excesso	4	22	88%	Excesso	5	22.7%
		Defice	18		Defice	4			Défice	17	77.3%

Quadro 3. Análise da eficácia do neurofeedback por banda

(Registo do número de alterações antes e após o neurofeedback e do número e percentagem de redução de alterações após o neurofeedback)

Antes da aplicação do neurofeedback, tal como é visível no quadro de matrizes abaixo, as alterações por excesso verificam-se maioritariamente na zona frontal e temporal, sobretudo esquerdas. As alterações por défice verificam-se maioritariamente na linha média frontal, temporal e occipital. Estas últimas verificam-se maioritariamente nas bandas HiBeta e Beta.

	D	T	A	B	HB	B1	total	D	T	A	B	HB	B1	total
Fp1	1	0	0	0	0	0	1	0	1	2	1	0	2	6
Fp2	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	1	1	1	3
F3	2	1	0	0	0	0	3	0	0	1	0	0	1	2
F4	1	2	1	0	0	0	4	0	0	0	2	3	0	5
C3	2	1	0	0	0	0	4	5	2	1	3	4	5	17
C4	1	2	0	0	1	0	4	0	1	2	2	2	1	8
P3	0	0	0	0	0	0	0	0	2	1	3	4	2	12
P4	0	0	0	0	0	0	0	1	3	1	2	5	1	13
O1	0	0	0	1	0	1	2	0	0	1	1	1	0	3
O2	0	0	1	1	0	1	3	3	2	1	2	2	1	11
F7	1	2	0	1	2	1	7	0	1	1	0	0	0	2
F8	1	2	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0
T3	0	0	0	2	2	2	6	0	2	1	0	0	0	3
T4	0	0	0	1	1	1	3	0	0	1	0	0	0	1
T5	0	0	0	1	1	1	3	2	0	1	0	0	1	4
T6	0	0	0	1	1	0	2	3	0	1	1	1	1	7
Fz	0	0	0	0	0	0	0	2	1	2	3	4	2	14
Cz	0	0	0	1	1	0	2	1	0	2	2	5	1	11
Pz	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	8	2	13

Quadro 4. Matrizes dos valores de poder absoluto antes

(Do lado esquerdo a matriz com os valores em excesso, representada com cores quentes e do lado direito os valores em défice, com cores frias)

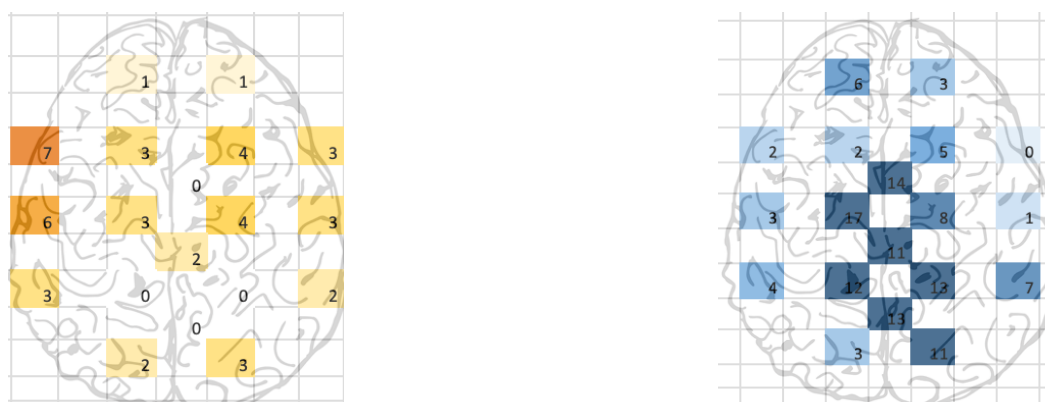


Figura 1. Representação das distribuições de alterações nos diferentes elétrodos no Poder Absoluto antes

(As cores vermelhas representam os excessos e as cores azuis os défices)

Após a aplicação do neurofeedback verificam-se melhorias maioritariamente ao nível da linha média frontal, temporal e central, sobretudo esquerdas. Neste caso, as melhorias das hiperativações verificam-se sobretudo ao nível das bandas delta e teta, especialmente nas derivações frontal e temporal esquerda. As melhorias das

hipoativações manifestam-se maioritariamente em Alfa e Beta, especialmente nas derivações frontais e centrais esquerdas.

	D	T	A	B	HB	B1	total	D	T	A	B	HB	B1	total
Fp1	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	2	0	3
Fp2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2	0	3
F3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1
F4	0	0	0	0	0	1	1	0	1	1	0	2	1	5
C3	0	0	0	0	0	0	0	2	2	0	2	1	0	7
C4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	2
P3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	7	0	8
P4	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	2	9	0	12
O1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	4	0	5
O2	0	0	0	0	1	1	2	1	0	0	1	5	0	7
F7	0	1	0	1	1	2	5	0	0	0	0	0	0	0
F8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1
T3	0	0	0	1	1	0	2	0	0	0	0	0	1	1
T4	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	1	1	1	3
T5	0	0	1	0	0	0	1	1	0	0	0	2	0	3
T6	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	1	4	0	7
Fz	0	0	0	0	1	0	1	2	1	1	1	4	1	10
Cz	0	0	0	1	0	0	1	2	0	1	0	1	0	4
Pz	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	7	0	8

Quadro 5. Matrizes dos valores de poder absoluto depois

(Do lado esquerdo a matriz com os valores em excesso, representada com cores quentes e do lado direito os valores em défice, com cores frias)

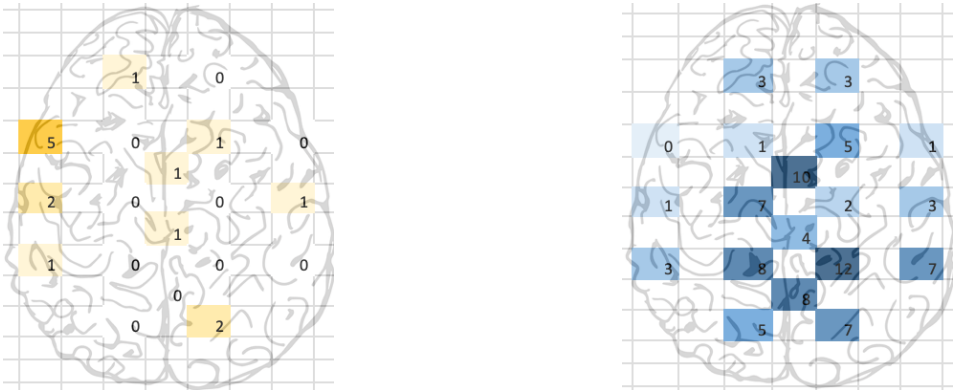


Figura 2. Representação das distribuições de alterações nos diferentes elétrodos no Poder Absoluto depois

(As cores vermelhas representam os excessos e as cores azuis os défices)

2.2. Análise Estatística

2.2.1. Eficácia Neurofeedback

Para a análise estatística das mudanças por banda e, de forma a corrigir o problema das múltiplas comparações desta análise (19 variáveis em cada banda), foi calculado o alfa crítico para a amostra segundo a correção de Bonferroni, obtendo-se $\alpha_{\text{crítico}} = .0488$.

Para os dados do poder absoluto, as mudanças efectivas, calculadas pelo logaritmo de base 10, verificaram-se em Delta F3 (T(23)=3.11, $p=.0049$), Teta F3 (T(23)=3.17, $p=.0043$), Teta C3 (T(23)=2.29, $p=.0316$), Beta F3 (T(23)=2.12, $p=.0455$), Beta Fz (T(23)=2.12, $p=.0452$) e Hibeta T6 (T(23)=2.20, $p=.0379$). Especificamente, em Delta F3 verificou-se uma redução da ativação entre o pré (Md=2,76, DP=0.37) e o pós (Md=2,56, DP=0.25) intervenção, verificando-se, assim, uma redução de hiperativações. Em Teta F3 verificou-se uma redução entre o pré (Md=2.30, DP=0.29) e o pós (Md=2.23, DP=0.22) intervenção, verificando-se, assim, uma redução de hiperativações. Em Teta C3 verificou-se uma redução entre o pré (Md=1.71, DP=0.32) e o pós (Md=1.65, DP=0.20) intervenção, pelo que uma redução das hiperativações. Em Beta F3 verificou-se uma redução entre o pré (Md=2.37, DP=0.36) e o pós (Md=2.26, DP=0.30) intervenção, pelo que uma redução das hiperativações. Em Beta Fz verificou-se uma redução entre o pré (Md=1.89, DP=0.34) e o pós (Md=1.83, DP=0.28) intervenção, pelo que uma redução das hiperativações. Em Hibeta T6 verificou-se uma redução entre o pré (Md=1.54, DP=0.42) e o pós intervenção (Md=1.35, DP=0.45), pelo que uma redução das hiperativações.

Recorrendo aos valores de z do poder absoluto, as mudanças efectivas verificaram-se em Delta F3 (T(23)=2.90, $p=.0081$), em Teta F3 (T(23)=2.79, $p=.0105$) e em Hibeta T6 (T(23)=2.18, $p=.0401$). Especificamente, em Delta F3 verificou-se uma redução entre o pré (Md=-0.11, DP=1.03) e o pós (Md=-0.17, DP=0.67) intervenção, pelo que redução das hiperativações. Em Teta F3 verificou-se uma redução entre o pré (Md=-0.27, DP=0.98) e o pós (Md=-0.50, DP=0.75) intervenção, pelo que redução das hiperativações. Em Hibeta T6 verificou-se uma redução entre o

pré (Md=-0.52, DP=1.23) e o pós (Md=-0.89, DP=1.23), pelo que redução das hiperativações.

Na análise do poder relativo, as mudanças efectivas verificaram-se em Delta C3 (T(22)=2.19, p=.0393), em Delta T3 (T(23)=2.10, p=.0468), em Delta T4 (T(23)=2.08, p=.0488), em Delta T5 (T(23)=2.18, p=.0401), em Alfa F3 (T(23)=-2.86, p=.0090), em Alfa F4 (T(23)=-2.36, p=.0272), em Alfa C4 (T(23)=-2.24, p=.0353) e em Alfa Fz (T(23)=-2.24, p=.0349). Especificamente, em Delta C3 verificou-se uma redução entre o pré (Md=33.65, DP=18.91) e o pós (Md=24.27, DP=13.74) intervenção, pelo que uma redução das hiperativações. Em Delta T3 verificou-se uma redução entre o pré (Md=27.40, DP=17.88) e o pós (Md=24.01, DP=13.04) intervenção, pelo que uma redução das hiperativações. Em Delta T4 verificou-se uma redução entre o pré (Md=23.06, DP=14.67) e o pós (Md=18.84, DP=10.91) intervenção, pelo que uma redução das hiperativações. Em Delta T5 verificou-se uma redução entre o pré (Md=14.75, DP=11.76) e o pós (Md=13.97, DP=8.62) intervenção, pelo que redução das hiperativações. Em Alfa F3 verificou-se um aumento entre o pré (Md=9.48, DP=5.09) e o pós (Md=12.78, DP=6.93), pelo que redução das hipoativações. Em Alfa F4 verificou-se um aumento entre o pré (Md=10.85, DP=3.66) e o pós (Md=11.76, DP=4.85) intervenção, pelo que redução das hipoativações. Em Alfa C4 verificou-se um aumento entre o pré (Md=17.68, DP=9.38) e o pós (Md=23.90, DP=12.97) intervenção, pelo que redução das hipoativações. Em Alfa Fz verificou-se um aumento entre o pré (Md=10.84, DP=5.05) e o pós (Md=12.72, DP=7.67) intervenção, pelo que redução das hipoativações.

2.2.2. “Learners” e “Non-learners”

Considera-se como critério de aprendizagem a melhoria em pelo menos uma banda após o neurofeedback. Com base nos valores de Z da medida do poder absoluto, a melhoria representa-se pela aproximação do valor de Z a 0. Foram calculadas as médias de ativação, antes e depois do neurofeedback, para cada sujeito/banda, para o cálculo de mudança total.

Foi calculado o Erro padrão de medida para cada banda/sujeito:

$$EpM = DpPre \times \sqrt{1 - Fiab}$$

Usou-se o Reliable Clinical Index (RCI) como indicador de mudança clínica fiável, pelo que aprendizagem:

$$1,96 \times \sqrt{2 \times SeM^2}$$

O limite de mudança é indicado pela soma do RCI com o Intervalo de Confiança de 95% após o neurofeedback. Valores de mudança total dentro deste limite não representam mudança, valores abaixo representam um aumento da distância a 0, valores acima representam aproximação a 0, pelo que aprendizagem.

Dos 24 sujeitos da amostra, verificaram-se como aprendedores 9 (37.5%) sujeitos.

Sujeito	Delta		Teta		Alfa		Beta		Hibeta		Beta1	
	MT	RCI+ IC	MT	RCI+ IC	MT	RCI+ IC	MT	RCI+ IC	MT	RCI+ IC	MT	RCI+ IC
1	1.401	0.837	0.916	0.918	0.293	0.675	0.298	0.881	0.302	1.236	0.268	0.608
2	0.316	0.705	0.265	1,111	-0.387	0.556	0.151	0.706	0.086	0.865	0.165	0.792
3	1.558	1.293	1.001	1,210	0.472	0.661	0.086	0.622	0.048	0.837	0.277	0.666
4	0.354	0.877	0.693	0.608	0.823	0.475	0.919	0.947	0.893	1.269	0.802	0.555
5	0.267	0.62	0.1	0.513	0.232	0.474	0.239	0.635	0.154	0.607	0.565	0.628
6	-0.216	1.405	-0.096	0.904	0.358	0.779	0.406	1.328	0.04	1.347	0.488	1.384
7	-0.051	0.894	0.222	0.515	0.375	0.97	-0.278	1.162	-0.117	1.254	-0.359	1.383
8	-0.306	0.699	-0.344	0.412	0.123	0.422	0.07	0.516	-0.084	0.608	0.11	0.562
9	0.993	0.621	-0.666	0.685	-0.264	0.567	-0.298	0.521	-0.234	0.592	-0.416	0.617
10	-0.15	0.842	0.1	0.925	-0.431	0.675	-0.318	0.572	-0.607	0.678	0.453	0.638
11	0.119	0.831	0.036	0.802	0.418	0.652	-0.025	0.607	0.48	0.731	0.544	0.573
12	1.042	0.95	0.43	0.698	0.086	1.013	0.8	1.059	1.027	1.397	0.528	1.079
13	-31	1.056	0.814	0.556	0.407	0.575	-0.144	0.643	0.829	0.621	0.354	0.818
14	0.53	1.015	0.335	0.743	-0.073	0.629	0.386	0.809	0.702	1.009	0.227	0.81
15	1.001	0.586	-0.349	0.485	-0.162	0.425	-0.654	0.518	-0.6	0.561	-0.555	0.601
16	-0.077	1.499	0.666	1.142	0,292	0,778	-0,519	0,559	-0.832	0.771	-0.46	0.782
17	0.03	0.852	0,223	0.735	0,233	0,507	0,573	0,876	0.313	1.262	0.574	0.744
18	0.786	0.564	0.281	1.029	-0.583	0.512	0.062	0.648	-0.283	0.541	0.09	0.72

Sujeito	Delta		Teta		Alfa		Beta		Hibeta		Beta1	
	MT	RCI+IC	MT	RCI+IC	MT	RCI+IC	MT	RCI+IC	MT	RCI+IC	MT	RCI+IC
19	0.797	0.606	0.692	0.754	0.253	0.702	-0.062	0.774	0.392	0.676	-0.429	0.763
20	0.095	0.662	0.515	0.696	0.441	0.688	0.125	0.84	-0.602	0.559	-0.039	0.955
21	0.374	0.842	0.379	1.087	0.647	0.952	0.444	1.267	0.249	1.106	0.713	1.232
22	0.004	0.981	0.487	0.849	0.276	0.388	0.47	0.635	0.85	1.102	0.316	0.489
23	-0.339	0.929	-0.585	0.878	-0.375	0.566	0.217	0.632	0.749	1.143	0.341	0.658
24	0.023	0.983	-0.528	0.747	-0.523	0.573	0.887	1.122	0.835	1.05	1.088	1.089

Quadro 6. Análise da mudança clínica fiável para distinção “*learners*”/“*non-learners*”
(Descrição da mudança total (MT) e do limite de mudança (RCI+IC))

2.2.3. Identificação de preditores

Considerando as variáveis com mudanças significativas referidas acima, foi aplicada uma regressão linear simples para cada eletrodo, usando como variável dependente o resultado após o neurofeedback e como variável independente o valor inicial antes da aplicação do neurofeedback.

Nos valores de z para o poder absoluto, verificou-se que quanto mais altos os valores iniciais de Teta F3 ($B=.534$; $\beta=.757$; $p<.05$) maior a probabilidade de aprendizagem após o neurofeedback ($R^2_{AJ}=.553$; $F(1,22)=29.48$; $p<.05$). Igualmente, quanto mais altos os valores iniciais de Hibeta T6 ($B=.776$; $\beta=.782$; $p<.05$) maior a probabilidade de aprendizagem após o neurofeedback ($R^2_{AJ}=.594$, $F(1,22)=34.64$; $p<.05$). Os valores iniciais de Delta F3 não predizem os resultados após o neurofeedback ($R^2_{AJ}=.093$; $F(1,22)=3.35$; $p= n.s.$).

Focando os “*learners*”, foi analisada a mudança após o neurofeedback por sujeito em Teta F3. Foi verificado que dos 9 sujeitos, 6 (66.7%) apresentaram melhorias neste eletrodo/banda. A todos estes se aplica o critério de predição.

Em Hibeta T6, 2 sujeitos melhoraram, aplicando-se o critério de predição a apenas 1 (11.1%).

Ou seja, o poder absoluto de Teta em F3 emerge como o preditor de aprendizagem com o neurofeedback da amostra usada de PCIs.

Sujeito	TetaT3A	TetaT3D	HibetaT6A	HibetaT6D
1	1.896788	-0.132084	0.51	-0.079761
3	1.393717	0.297864	0.652221	1.565785
4	-1.216353	-0.574959	-2.036914	-2.195952
9	-1.138266	-1.768822	-1.526824	-1.427198
12	-1.939906	-1.845765	0.487535	1.495609
13	-0.270827	-0.546029	0.026851	-1.255961
15	1.043002	0.322383	-1.805167	-2.530164
18	2.196235	1.161877	-1.220681	-1.071006
19	1.458962	-0.130246	1.161862	0.211544

Quadro 7. Análise das diferenças dos “*learners*” antes e depois do neurofeedback nas variáveis preditoras

Discussão

O estudo descrito teve como principal objetivo analisar a influência da aprendizagem na eficácia do neurofeedback. Teve como base de análise as Perturbações do Controlo dos Impulsos, nas quais se verificavam défices na fundamentação relativamente à aplicação do neurofeedback. Através de uma análise descritiva com base nos valores de Z do poder absoluto das diferentes bandas e localizações, foi verificada uma redução de alterações eletrofisiológicas em 68.2% dos sujeitos. Este resultado sugere boa eficácia global do neurofeedback nestas perturbações.

A investigação na área é marcada por diferentes resultados, muitos deles contraditórios, o que tende a estar associado com a complexidade da intervenção que dificulta o desenvolvimento de metodologias de investigação completas e rigorosas, referindo-se falhas que comprometem os resultados (Rogala et al., 2016; Strehl et al., 2017).

Neste caso, o resultado obtido é concordante com diversos estudos sobre o efeito do neurofeedback na impulsividade, maioritariamente associados com as Perturbações de Hiperatividade e Défice de Atenção (Dias, 2010; Egner & Gruzelier, 2001; Hammond, 2011; Ioannides, 2018; Monastra et al., 2005; Rogala et al., 2016).

Ainda assim, são referidos estudos onde esta eficácia, quando existe maior controlo e inclusão de outras variáveis, não é comprovada (Alkoby et al., 2018; Ioannides, 2018; Logemanna et al., 2010).

Logemann, Lansbergenc, Osd, Böckerb e Kenemansa (2010) realizaram um estudo no qual compararam o efeito do neurofeedback com um protocolo placebo. No entanto, não foram verificadas diferenças entre os dois grupos analisados, parecendo que o neurofeedback não tem efeitos comportamentais quando se recorrem a fatores inespecíficos. De uma forma geral, devem ter-se em conta as limitações do estudo, podendo ser referido que o foco exclusivo em efeitos comportamentais sem análise

específica de variáveis eletroencefalográficas poderá ser um aspeto de influência nos resultados obtidos.

Referir aqui que, a utilização de uma base de dados normativa, segundo a qual se definem os critérios de diagnóstico e tratamento e, através da qual se permite uma comparação com um conjunto de dados completo e fiável, permite o desenvolvimento de um design de investigação com elevado controlo e adequado para a análise do Neurofeedback. Desta forma, sendo a base de dados escolhida baseada numa recolha de dados através de qEEG, é possível referir que o design da presente investigação permite uma análise estável, fiável e com uma forte capacidade preditiva dos resultados da população (Teixeira, 2015).

Especificamente, antes do neurofeedback verificou-se uma hiperativação frontal e temporal de todas as bandas e uma hipoativação de Hibeta e Beta nas derivações frontal, temporal e occipital. Estes resultados estão de acordo com a literatura, segundo a qual se associa o comportamento impulsivo com padrões de elevada ativação das bandas lentas e défices nas bandas rápidas, descrevendo-se uma hipoativação das regiões corticais e suas conexões (Chiarenza et al., 2016; Knyazev et al., 2008; Lansbergen, Böcker, et al., 2007). São também concordantes com os estudos que caracterizam os sujeitos impulsivos com a presença de hiperativação de teta frontocentral e centroparietal, hiperativação de delta posterior e hipoativação de alfa e beta posteriores (De Pascalis et al., 2012). Oscilações de alfa e bandas lentas tendem a ter uma ação recíproca oposta, verificando-se uma redução de alfa com o aumento das ondas lentas, que provoca uma redução do controlo inibitório (Knyazev et al., 2008). Estudos com crianças referem o mesmo grupo de resultados, descrevendo uma hipoativação dos lobos frontais e das regiões do estriado (Chiarenza et al., 2016).

Após a aplicação do neurofeedback verificou-se, no poder absoluto, uma redução significativa da hiperativação de Delta, Teta, Beta e Hibeta nas regiões frontal e temporal. Tendo como base os valores de Z, verificou-se uma redução significativa da hiperativação de Delta, Teta e Hibeta na região frontal esquerda e temporal direita.

Segundo a literatura, as Perturbações do Controlo dos Impulsos apresentam uma forte associação com a atividade da banda Teta em diferentes regiões cerebrais, maioritariamente frontais e centrais (Kamarajan et al., 2008). Padrões desviantes de excesso de ativação das bandas lentas e défices da atividade rápida poderão ser identificados como marcadores biológicos das PCIs (Lansbergen, Böcker, et al., 2007). Neste caso, após a aplicação do neurofeedback, Gevenleben e colaboradores (2009) referem uma redução da atividade da banda teta nas regiões centro-parietais, independentemente do protocolo aplicado.

No neurofeedback a modificação não ocorre diretamente numa área ou frequência específica, esta é desenvolvida nas conexões por inteiro, pelo que, tendo como base as perturbações psicológicas, se considera que a intervenção numa banda/ área permite o desenvolvimento de uma ativação normal de toda a rede conexional (Ioannides, 2018). Desta forma, os resultados referidos são concordantes com esta informação, descrevendo-se uma regulação global de todas as áreas cerebrais como fator de eficácia do neurofeedback.

Na análise do poder relativo, verificou-se uma redução significativa da hiperativação de Delta nas regiões central e temporal e uma redução significativa da hipoativação de Alfa nas regiões frontal e central de ambos os lobos. Estes resultados são concordantes com os resultados de Knyazev, Levin e Savostyanov (2008), os quais referem que a atividade alfa está associada com a antecipação e preparação do comportamento, permitindo um aumento da capacidade de resposta aos estímulos ambientais. Neste caso, um aumento da atividade alfa em sujeitos saudáveis, em tarefas de inibição do comportamento, poderá ser considerado como um mecanismo compensatório que permite o aumento do controlo inibitório e, assim, demonstrar uma performance adequada. Indivíduos com perturbação do controlo dos impulsos apresentam atividade aumentada de alfa em conjunto com o aumento da atividade de ondas lentas. Desta forma, o aumento da atividade alfa e a redução da atividade delta permite um aumento da inibição de resposta e, assim, redução da impulsividade.

No neurofeedback é o próprio sujeito que tem de construir a mudança, pelo que a aprendizagem ativa do controlo cerebral é uma fase da intervenção, sendo também

parte crucial para a validação do procedimento do neurofeedback (Reiner et al., 2018).

Dentro do neurofeedback, refere-se um défice de investigação na distinção entre os participantes bem sucedidos na aprendizagem da regulação do sinal eletrofisiológico e os que não conseguem desenvolver esta aprendizagem. A análise destes subgrupos permite o desenvolvimento de estudos com minimização de “*non-learners*” para evitar a perda de poder e gasto de recursos, bem como desenvolver a capacidade de aprendizagem associada ao neurofeedback e identificar preditores para a seleção de pacientes (Alkoby et al., 2018; Sorger et al., 2019).

Os resultados sugerem que 37.5% dos sujeitos apresentaram mudança clínica fiável em pelo menos uma banda de atividade eletrofisiológica, sendo caracterizados como “*learners*”. Estes resultados são inconsistentes com resultados de estudos anteriores que referem uma percentagem de “*learners*” de cerca de 60%, 30% com sucesso imediato e 30% após o treino (Friedrich et al., 2014).

Estudos acerca da eficácia do neurofeedback e protocolos específicos demonstram que existe variabilidade ao nível do sucesso em diferentes perturbações e diagnósticos, referindo-se que entre 50% e 70% dos sujeitos obtém sucesso com o neurofeedback, mesmo que em diferentes fases da intervenção (Kleinnijenhuis, Arns, Spronk, Breteler, & Duysens, 2008). Outros estudos referem que a percentagem de sujeitos que não consegue desenvolver a capacidade de controlo eletrofisiológico deverá ser semelhante à percentagem de sujeitos que não responde à medicação, variando entre 29% e 35% (Monastra et al., 2005).

Referir que o uso do *Reliable Clinical Change* como indicador de aprendizagem fiável é um aspeto diferenciado deste estudo, o que poderá explicar a diferença de resultados. Este índice, maioritariamente aplicado à análise da eficácia das psicoterapias, é uma medida estatística que permite a análise da mudança após intervenção com base na comparação da mudança individual em unidades standard, o que permite caracterizar esta mudança tendo em conta a quantidade e direção, com uma redução da probabilidade de interferência da variabilidade da medida na explicação dos resultados (Zhara & Hedge, 2010).

Nos resultados dos “*non-leaners*” deverá ter-se em conta a possibilidade de falta de motivação e reduzido comprometimento com o resultado, ainda que deverão ser desenvolvidos estudos que comprovem esta associação (Sorger et al., 2019).

Considera-se que a personalização e regulação do neurofeedback de acordo com o sujeito em particular poderá permitir um melhor nível de performance, pelo que a consideração e análise de preditores permite, também, melhorar esta performance (Alkoby et al., 2018) Neste caso, relativamente à identificação de preditores da aprendizagem no neurofeedback a literatura ainda não apresenta muita informação, sendo referidas lacunas neste aspeto. Ainda assim, autores como Reiner e colaboradores (2018) referem como preditor a amplitude média de alfa em repouso.

No estudo presente foi verificado que a elevada ativação inicial de Teta F3 prediz uma maior a probabilidade de aprendizagem após o neurofeedback, o que sugere que este será o preditor de aprendizagem com o neurofeedback nesta amostra de Perturbações do Controlo dos Impulsos.

Como limitações, salienta-se que a categoria diagnóstica de Perturbação do Controlo dos Impulsos engloba diferentes categorias nosográficas, com especificidades próprias que podem, por si, introduzir algum viés na análise dos resultados do neurofeedback. Salienta-se também a dimensão da amostra, cujo aumento poderia permitir uma maior consistência dos resultados obtidos.

Conclusão

A atividade cerebral é considerada como a representação física da atividade mental, sendo que, para a promoção de alterações ao nível do estado mental, deverão desenvolver-se mudanças ao nível da neurofisiologia e vice versa (Friedrich et al., 2014).

O neurofeedback é um método de intervenção terapêutico com diversas vantagens. A realização de alterações na atividade elétrica cerebral permite o desenvolvimento de alterações ao nível do comportamento, humor e reversão patológica. É também um método minimamente invasivo que, através da modulação da atividade elétrica de determinada área cerebral, permite alterações em outras áreas relacionadas, melhorando, assim, a eficácia e manutenção dos resultados (Ioannides, 2018). Através do neurofeedback, as mudanças que inicialmente são de curta duração vão-se tornando gradualmente mais duradouras (Hammond, 2011).

Com este estudo, foi possível analisar a eficácia do neurofeedback nas Perturbações do Controlo dos Impulsos. Aqui, permite-se o desenvolvimento e aumento do conhecimento acerca destas perturbações, bem como identificação de benefícios diretos do neurofeedback para a prática clínica. Foram analisadas as métricas de qEEG do poder absoluto e do poder relativo, antes e após o neurofeedback, e identificados preditores do sucesso do neurofeedback para distinção entre “*learners*” e “*non-learners*”.

Os resultados sugerem que o neurofeedback é eficaz no tratamento das Perturbações do Controlo dos Impulsos, verificando-se uma redução significativa da hiperativação frontal e central das bandas lentas e da hipoativação das bandas rápidas, o que permite uma redução da impulsividade.

Ainda assim, refere-se a necessidade de desenvolver estudos prosseguientes onde um design mais controlado, com a contemplação de variáveis comportamentais e de avaliação neuropsicológica, seja desenvolvido (Reiner et al., 2018). Neste caso,

Orndorff-Plunkett e colaboradores (2017) referem que a eficácia do neurofeedback poderá ser analisada não só através das mudanças na linha basal da atividade neuronal, mas também através dos resultados verificados no comportamento social, cognitivo, perceptivo e experiencial.

Relativamente à análise da aprendizagem foi verificado que apenas 37.5% dos sujeitos apresentam aprendizagem efetiva com o neurofeedback nesta amostra de PCIs, referindo-se como preditor desta aprendizagem a ativação de Teta F3 nas medidas de valores Z do poder absoluto.

O processo de aprendizagem deverá ser considerado como base da análise da eficácia do neurofeedback, da definição de protocolos, mecanismos e melhorias tecnológicas a implementar, tendo em conta a incapacidade de aprendizagem como um fator de justificação da ineficácia do neurofeedback (Friedrich et al., 2014; Reiner et al., 2018; Siniatchkin et al., 2000).

Em estudos prosseguintes, dever-se-ão desenvolver investigações com análises entre sessões de forma a identificar possíveis variáveis que definam *a priori* (sessões iniciais) a capacidade de aprendizagem e, assim, a possível eficácia/ineficácia do neurofeedback. Estas comparações permitem manter resultados mais robustos e reduzir o erro de variância, bem como promover o controlo da fadiga final de cada sessão (Reiner et al., 2018; Zuberer et al., 2018).

Siniatchkin et al. (2000) referem que um dos principais fatores da aprendizagem no neurofeedback é o *feedback* e o reforço, referindo que quando o *feedback* é alterado ao longo das sessões de intervenção há também uma alteração dos resultados do neurofeedback. Desta forma, em posteriores análises deverá também haver um enfoque nos fatores de influência da aprendizagem em neurofeedback, procedendo, por exemplo, à comparação de diferentes formas de *feedback* e reforço.

Assim, este estudo revela um forte contributo para a definição da eficácia do neurofeedback nas Perturbações do Controlo dos Impulsos, para a abordagem da influência da aprendizagem no neurofeedback e para a identificação de critérios de

predição dos resultados que permitem uma intervenção clínica mais adequada às características individuais do sujeito.

Referências Bibliográficas

- Adamec, C. (2008). *Impulse Control Disorders* (C. Collins Ed.). New York: Chealsea House Publishers.
- Alkoby, O., Abu-Rmileh, A., Shriki, O., & Todder, D. (2018). Can We Predict Who Will Respond to Neurofeedback? A Review of the Inefficacy Problem and Existing Predictors for Successful EEG Neurofeedback Learning. *Neuroscience*, 378, 155-164. doi:<https://doi.org/10.1016/j.neuroscience.2016.12.050>
- Angelakis, E., Stathopoulou, S., Frymiare, J. L., Green, D. L., Lubar, J. F., & Kounios, J. (2007). EEG Neurofeedback: A Brief Overview and an Example of Peak Alpha Frequency Training for Cognitive Enhancement in the Elderly. *The Clinical Neuropsychologist*, 21(1), 110-129. doi:10.1080/13854040600744839
- Arns, M., Gunkelman, J., Olbrich, S., Sander, C., & Hegerl, U. (2011). EEG Vigilance and Phenotypes in Neuropsychiatry: Implications for Intervention. In E. Inc. (Ed.), *Neurofeedback and Neuromodulation Techniques and Applications*.
- Association, A. P. (2014). Manual de Diagnóstico e Estatística das Perturbações Mentais: DSM-5. Lisboa: Climepsi Editores.
- Astrand, E., Wardak, C., & Ben Hamed, S. (2014). Selective visual attention to drive cognitive brain-machine interfaces: From concepts to neurofeedback and rehabilitation applications. *Frontiers in Systems Neuroscience*, 8.
- Azarpaikan, A., Torbati, H. T., & Sohrabi, M. (2014). Neurofeedback and physical balance in Parkinson's patients. *Gait & Posture*, 40(1), 177-181. doi:10.1016/j.gaitpost.2014.03.179
- Benvenuti, S. M., Sarlo, M., Buodo, G., Mento, G., & Palomba, D. (2015). Influence of impulsiveness on emotional modulation of response inhibition: An ERP study. *Clinical Neurophysiology*, 126(10), 1915-1925. doi:10.1016/j.clinph.2014.12.012

- Bluschke, A., Roessner, V., & Beste, C. (2016). Editorial Perspective: How to optimise frequency band neurofeedback for ADHD. *J Child Psychol Psychiatry*, 57(4), 457-461. doi:10.1111/jcpp.12521
- Chen, A. C. H., Porjesz, B., Rangaswamy, M., Kamarajan, C., Tang, Y., Jones, K. A., . . . Begleiter, H. (2007). Reduced frontal lobe activity in subjects with high impulsivity and alcoholism. *Alcoholism: Clinical and Experimental Research*, 31(1), 156-165. doi:10.1111/j.1530-0277.2006.00277.x
- Chiarenza, G. A., Chabot, R., Isenhardt, R., Montaldi, L., Chiarenza, M. P., Torto, M. G. L., & Prichep, L. S. (2016). The quantified EEG characteristics of responders and non-responders to long-term treatment with atomoxetine in children with attention deficit hyperactivity disorders. *International Journal of Psychophysiology*, 104, 44-52. doi:http://dx.doi.org/10.1016/j.ijpsycho.2016.04.004
- Cho, Kim, Shin, Lee, Lee, Kim, & Kim. (2004). Neurofeedback Training with Virtual Reality for Inattention and Impulsiveness. *CyberPsychology & Behavior*, 7(5), 519-526. doi:10.1089/cpb.2004.7.519
- Cho, Kim, K.-T., & Jung, J.-H. (2015). Effects of computer assisted cognitive rehabilitation on brain wave, memory and attention of stroke patients: a randomized control trial. *J. Phys. Ther. Sci.*, 27(4), 1029–1032.
- Clinical Manual of Impulse-Control Disorders*. (2006). (E. Hollander & D. J. Stein Eds.). Arlington: American Psychiatric Publishing.
- Davelaar, E. J., Barnby, J. M., Almasi, S., & Eatough, V. (2018). Differential Subjective Experiences in Learners and Non-learners in Frontal Alpha Neurofeedback: Piloting a Mixed-Method Approach. *Frontiers in Human Neuroscience*, 12(402). doi:10.3389/fnhum.2018.00402
- De Pascalis, V., Arwari, B., D'Antuono, L., & Cacace, I. (2009). Impulsivity and semantic/emotional processing: An examination of the N400 wave. *Clinical Neurophysiology*, 120(1), 85-92. doi:10.1016/j.clinph.2008.10.008

- De Pascalis, V., Varriale, V., & Rotonda, M. (2012). EEG oscillatory activity associated to monetary gain and loss signals in a learning task: Effects of attentional impulsivity and learning ability. *International Journal of Psychophysiology*, 85(1), 68-78. doi:10.1016/j.ijpsycho.2011.06.005
- Dell'Osso, B., Altamura, C., Allen, A., Marazziti, D., & Hollander, E. (2006). Epidemiologic and clinical updates on impulse control disorders - A critical review. *Eur Arch Psychiatry Clin Neurosci*, 256, 464-475. doi:10.1007/s00406-006-0668-0
- Dias, A. I. M. (2010). TENDÊNCIAS DO NEUROFEEDBACK EM PSICOLOGIA: REVISÃO SISTEMÁTICA. *Psicologia em Estudo*, 15(4), 811-820.
- Egner, T., & Gruzelier, J. H. (2001). Learned self-regulation of EEG frequency components affects attention and event-related brain potentials in humans. *COGNITIVE NEUROSCIENCE AND NEUROPSYCHOLOGY*, 12(18), 4155-4159.
- Friedrich, E. V. C., Wood, G., Scherer, R., & Neuper, C. (2014). Mind over brain, brain over mind: cognitive causes and consequences of controlling brain activity. *Frontiers in Human Neuroscience*, 8(348). doi:doi: 10.3389/fnhum.2014.00348
- Friesen, C. L., Bardouille, T., Neyedli, H. F., & Boe, S. G. (2017). Combined action observation and motor imagery neurofeedback for modulation of brain activity. *Frontiers in Human Neuroscience*, 10. doi:10.3389/fnhum.2016.00692
- Fuchs, T., Birbaumer, N., Lutzenberger, W., Gruzelier, J., & Kaiser, J. (2003). Neurofeedback treatment for attention-deficit/hyperactivity disorder in children: a comparison with methylphenidate. *Appl Psychophysiol Biofeedback*, 28(1), 1-12.
- Gevensleben, H., Holl, B., Albrecht, B., Schlamp, D., Kratz, O., Studer, P., . . . Heinrich, H. (2009). Distinct EEG effects related to neurofeedback training in children with ADHD: A randomized controlled trial. *International Journal of Psychophysiology*, 74, 149-157. doi:10.1016/j.ijpsycho.2009.08.005

- Giovannelli, F., Mastrolorenzo, B., Rossi, A., Gavazzi, G., Righi, S., Zaccara, G., . . . Cincotta, M. (2016). Relationship between impulsivity traits and awareness of motor intention. *European Journal of Neuroscience*, 44, 2455-2459. doi: 10.1111/ejn.13359
- Grant, J. E., Atmaca, M., Fineberg, N. A., Fontenelle, L. F., Matsunaga, H., Reddy, J., . . . Stein, D. J. (2014). Impulse control disorders and “behavioural addictions” in the ICD-11. *World Psychiatry*, 13(2). doi:DOI 10.1002/wps.20115
- Grant, J. E., Levine, L., Kim, D., & Potenza, M. N. (2005). Impulse Control Disorders in Adult Psychiatric Inpatients. *Am J Psychiatry*, 162, 2184-2188.
- Hammond, D. C. (2011). WHAT IS NEUROFEEDBACK: AN UPDATE. *Journal of Neurotherapy*, 15, 305-336. doi:DOI: 10.1080/10874208.2011.623090
- Hammond, D. C., Walker, J. S., Hoffman, D. A., Lubar, J. F., Trudeau, D. L., Gurnee, R., & Horvat, J. (2004). Standards for the Use of Quantitative Electroencephalography (QEEG) in Neurofeedback: A Position Paper of the International Society for Neuronal Regulation. *Journal of Neurotherapy*, 8(1), 5-27. doi:10.1300/j184v08n01_02
- Ioannides, A. A. (2018). Neurofeedback and the Neural Representation of Self: Lessons From Awake State and Sleep. *Front. Hum. Neurosci.*, 12(142). doi: 10.3389/fnhum.2018.00142
- Kamarajan, C., Rangaswamy, M., Chorlian, D. B., Manz, N., Tang, Y., Pandey, A. K., . . . Porjesz, B. (2008). Theta oscillations during the processing of monetary loss and gain: A perspective on gender and impulsivity. *BRAIN RESEARCH*, 1235, 45-62. doi:10.1016/j.brainres.2008.06.051
- Khanna, P., Swann, N. C., de Hemptinne, C., Miocinovic, S., Miller, A., Starr, P. A., & Carmena, J. M. (2017). Neurofeedback Control in Parkinsonian Patients Using Electrocorticography Signals Accessed Wirelessly With a Chronic, Fully Implanted Device. *IEEE Transactions on Neural Systems & Rehabilitation Engineering*, 25(10), 1715-1724. doi:10.1109/TNSRE.2016.2597243

- Kleinnijenhuis, M., Arns, M., Spronk, D. e., Breteler, R., & Duysens, J. (2008). Comparison of Discrete-Trial-Based SMR and SCP Training and the Interrelationship Between SCP and SMR Networks: Implications for Brain-Computer Interfaces and Neurofeedback. *Journal of Neurotherapy*, 11(4), 19-35. doi:doi:10.1080/10874200802162808
- Knyazev, Levin, & Savostyanov. (2008). Impulsivity, anxiety, and individual differences in evoked and induced brain oscillations. *International Journal of Psychophysiology*, 68(3), 242-254. doi:10.1016/j.ijpsycho.2008.02.010
- Kober, S. E., Schweiger, D., Reichert, J. L., Neuper, C., & Wood, G. (2017). Upper alpha based neurofeedback training in chronic stroke: Brain plasticity processes and cognitive effects. *Applied Psychophysiology and Biofeedback*, 42(1), 69-83. doi:10.1007/s10484-017-9353-5
- Koelsch, S., Sammler, D., Jentschke, S., & Siebel, W. A. (2008). EEG correlates of moderate intermittent explosive disorder. *Clinical Neurophysiology*, 119, 151-162. doi:doi:10.1016/j.clinph.2007.09.131
- Lansbergen, M. M., Böcker, K. B. E., Bekker, E. M., & Kenemans, J. L. (2007). Neural correlates of stopping and self-reported impulsivity. *Clinical Neurophysiology*, 118(9), 2089-2103. doi:10.1016/j.clinph.2007.06.011
- Lansbergen, M. M., Schutter, D. J. L. G., & Kenemans, J. L. (2007). Subjective impulsivity and baseline EEG in relation to stopping performance. *BRAIN RESEARCH*, 1148, 161-169. doi:doi:10.1016/j.brainres.2007.02.034
- Logemanna, H. N. A., Lansbergenc, M. M., Osd, T. W. D. P. V., Böckerb, K. B. E., & Kenemansa, J. L. (2010). The effectiveness of EEG-feedback on attention, impulsivity and EEG: A sham feedback controlled study. *Neuroscience Letters*, 479, 49-53. doi:10.1016/j.neulet.2010.05.026
- Luctkar-Flude, M., & Groll, D. (2015). A Systematic Review of the Safety and Effect of Neurofeedback on Fatigue and Cognition. *Integrative Cancer Therapies*, 14(4), 318-340. doi:10.1177/1534735415572886

- Monastra, Lynn, S., Linden, M., Lubar, J. F., Gruzelier, J., & LaVaque, T. J. (2005). Electroencephalographic Biofeedback in the Treatment of Attention-Deficit/Hyperactivity Disorder. *Applied Psychophysiology and Biofeedback*, 30(2). doi: 10.1007/s10484-005-4305-x
- Muresanu, D. F., Stan, A., & Buzoianu, A. (2012). Neuroplasticity and impulse control disorders. *Journal of the Neurological Sciences*, 316, 15-20.
- Neurofeedback Training to Enhance Learning and Memory in Patient with Traumatic Brain Injury: a Single Case Study, 14, a9h 5-5, International Journal of Psychosocial Rehabilitation (Southern Development Associates, Ltd. 2009).
- Orndorff-Plunkett, F., Singh, F., Aragón, O. R., & Pineda, J. A. (2017). Assessing the Effectiveness of Neurofeedback Training in the Context of Clinical and Social Neuroscience. *brain sciences*, 7(95). doi:10.3390/brainsci7080095
- Reiner, M., Gruzelier, J., Bamidis, P. D., & Auer, T. (2018). The Science of Neurofeedback: Learnability and Effects. *Neuroscience*, 378, 1-10. doi:https://doi.org/10.1016/j.neuroscience.2018.04.024
- Roessner, V., Plessen, K. J., Rothenberger, A., Ludolph, A. G., Rizzo, R., Skov, L., . . . Hoekstra, P. J. (2011). 'European clinical guidelines for Tourette Syndrome and other tic disorders. Part III: Behavioural and psychosocial interventions': Erratum. *European Child & Adolescent Psychiatry*, 20(7), 377-377.
- Rogala, J., Jurewicz, K., Paluch, K., Kublik, E., Cetnarskiand, R., & Wróbel, A. (2016). The Do's and Don'ts of Neurofeedback Training: A Review of the Controlled Studies Using Healthy Adults. *Front. Hum. Neurosci.*, 10(301). doi: 10.3389/fnhum.2016.00301
- Siniatchkin, M., Kropp, P., & Gerber, W.-D. (2000). Neurofeedback—The Significance of Reinforcement and the Search for an Appropriate Strategy for the Success of Self-regulation. *Applied Psychophysiology and Biofeedback*, 25(3). doi:1090-0586/00/0900-0167\$18.00/0

- Sorger, B., Scharnowski, F., Linden, D. E. J., Hampson, M., & Young, K. D. (2019). Control freaks: Towards optimal selection of control conditions for fMRI neurofeedback studies. *NeuroImage*, 186, 256-265. doi:<https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2018.11.004>
- Strehl, U., Aggensteiner, P., Wachtlin, D., Brandeis, D., Albrecht, B., Arana, M., . . . Holtmann, M. (2017). Neurofeedback of Slow Cortical Potentials in Children with Attention-Deficit/Hyperactivity Disorder: A Multicenter Randomized Trial Controlling for Unspecific Effects. *Front. Hum. Neurosci*, 11(135). doi:10.3389/fnhum.2017.00135
- Teixeira, J. M. (2015). qEEG: Sua utilidade na prática clínica psiquiátrica. *Revista Portuguesa de Psiquiatria e Saúde Mental*, 1(1), 11-20.
- Zhara, D., & Hedge, C. (2010). The Reliable Change Index: Why isn't it more popular in academic psychology? *PsyPag Quarterly*(76).
- Zuberer, A., Minder, F., Brandeis, D., & Drechsler, R. (2018). Mixed-Effects Modeling of Neurofeedback Self-Regulation Performance: Moderators for Learning in Children with ADHD. *Hindawi: Neural Plasticity*. doi:<https://doi.org/10.1155/2018/2464310>